

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESTÁNDAR ATSC AVANZADO BAJO
MODULACIONES 8-VSB Y OFDM.**

**AUTORES:
MAURICIO FERNANDO AGUAS TIPÁN
JORGE RAMIRO SANDOVAL CAJAS**

**TUTOR:
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

Quito, febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Mauricio Fernando Aguas Tipán y Jorge Ramiro Sandoval Cajas, con documentos de identificación N° 172348842-3 y N° 172359558-1, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESTÁNDAR ATSC AVANZADO BAJO MODULACIONES 8-VSB Y OFDM”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Mauricio Fernando Aguas Tipán

C.I: 172348842-3



Jorge Ramiro Sandoval Cajas

C.I: 172359558-1

Fecha: Quito, febrero 2019.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESTÁNDAR ATSC AVANZADO BAJO MODULACIONES 8-VSB Y OFDM” realizado por: Mauricio Fernando Aguas Tipán y Jorge Ramiro Sandoval Cajas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero 2019.



Luis Germán Oñate Cadena

C.I: 171215740-1

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mis padres Antonio y Olga, por ser un pilar fundamental en toda mi formación, tanto académica, como de la vida, y por el apoyo incondicional mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos Myriam y Christian, por haberme ayudado en todo momento, por la motivación constante que me ha permitido no decaer, pero más que nada, por tan valiosos consejos.

A mis amigos Carla, Wilson y Jonathan, por compartir los buenos y malos momentos a lo largo de esta trayectoria y por siempre estar dispuestos a escucharme en cualquier momento.

Mauricio Fernando Aguas Tipán

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a mi familia, a mis padres Ramiro y Ruth y a mis hermanos Patricio y David, por ser lo máspreciado que tengo en mi vida, por saber guiarme con amor y por demostrarme que los sueños se cumplen cuando existe amor de por medio, por confiar en mí y acompañarme en cada momento que fue necesario.

Jorge Ramiro Sandoval Cajas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos, por el apoyo incondicional y el ánimo constante para no decaer. Siendo ellos mi gran motivación para seguir adelante, demostrándome que puedo alcanzar mis sueños.

Agradezco especialmente al Ing. Luis Oñate por la orientación y disposición para el desarrollo de este proyecto de titulación.

A mis amigos y compañeros quienes me apoyaron a lo largo de toda esta trayectoria académica compartiendo experiencias alegres y amargas.

Y a todos los demás por formar parte de esta gran etapa de mi vida.

Mauricio Fernando Aguas Tipán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mis padres Ramiro y Ruth y a mis hermanos Patricio y David, quienes me han cultivado una palabra de fe y de aliento para no decaer y seguir adelante, quienes, con cada consejo, valores, principios y principalmente con su amor incondicional han logrado en mí ser una persona de bien, y demostrarme que puedo ser capaz de lograr todo lo que me proponga.

Al ingeniero Luis Germán Oñate Cadena por la guía y ayuda en el avance y progreso de este proyecto de titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, y los docentes por los conocimientos que han compartido en toda esta etapa que fue de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros por todo lo compartido, por su cariño, por todas esas vivencias y por todo lo demás gracias por ser parte de este gran capítulo de mi vida.

Jorge Ramiro Sandoval Cajas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación de problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Metodología.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee).....	4
2.1.1 Generalidades	4
2.1.2 Características básicas de un sistema ATSC.....	5
2.2 Modulación 8-VSB.....	6
2.2.1 Generalidades	6
2.2.2 Características de la modulación 8-VSB.....	6
2.2.3 Estándar ATSC con modulación 8-VSB.....	7
2.3 Modulación OFDM	9
2.3.1 Generalidades	9
2.3.2 Estándar ATSC con modulación OFDM.	9
2.4 Comparación entre Modulación 8-VSB y Modulación OFDM	11
CAPÍTULO 3.....	12
SIMULACIÓN DEL ESTÁNDAR ATSC EN SIMULINK UTILIZANDO MODULACIONES 8-VSB Y OFDM.	12
3.1 Diagrama de bloques: transmisión y recepción del estándar ATSC con modulación 8-VSB.....	12
3.1.1 Signal o generador de señal.....	12
3.1.2 Codificador Reed Solomon	14
3.1.3 Entrelazador convolucional.....	14
3.1.4 Trellis Interleaver	15
3.1.5 Modulador 8-PAM.....	15

3.1.6	Canal AWGN	16
3.1.7	Demodulador 8-PAM.....	16
3.1.8	Decodificador Trellis	17
3.1.9	Desentrelazador Convolutivo	17
3.1.10	Decodificador Reed Solomon	17
3.1.11	Salida de datos/Output	17
3.1.12	Error Rate Calculation.....	18
3.1.13	Find Delay	18
3.2	Diagrama de bloques: transmisión y recepción del estándar ATSC con modulación OFDM.	18
3.2.1	Signal o generador de señal.....	19
3.2.2	Codificador Reed Solomon	19
3.2.3	Convertidor de enteros a bits.....	19
3.2.4	Codificador interno	21
3.2.5	Mapper 64-QAM.....	21
3.2.6	Modulación OFDM.....	21
3.2.7	Demodulador OFDM	22
3.2.8	Demaper 64-QAM & Inner Deinterleaver	22
3.2.9	Convertidor de bits a enteros	22
3.2.10	Decodificador Reed Solomon	22
3.2.11	Salida de datos/Output y Find Delay	22
CAPÍTULO 4.....		24
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		24
4.1	Resultados obtenidos en la imagen RGB con modulación 8-VSB.....	24
4.2	Resultados obtenidos en la imagen RGB con modulación OFDM	28
4.3	BER (Bit Error Rate)	32
4.4	Delay o Retardo.....	33
4.5	Eficiencia.....	33
CAPÍTULO 5.....		35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		35
5.1	Conclusiones	35
5.2	Recomendaciones.....	36
REFERENCIAS.....		37

ANEXOS40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de bloques general de un sistema ATSC.....	5
Figura 2.2 Diagrama para un transmisor ATSC con modulación 8-VSB.....	7
Figura 2.3 Diagrama para un transmisor DVB-T con modulación OFDM	10
Figura 3.2 Componentes del subsistema Signal o generador de señal.....	12
Figura 3.1 Diagrama de bloques del estándar ATSC con modulación 8-VSB.	13
Figura 3.3 Componentes del Subsistema Trellis Interleaver	15
Figura 3.4 Componentes del subsistema “Output o salida de datos”	18
Figura 3.6 Componentes del subsistema Signal o generador de señal.....	19
Figura 3.5 Diagrama de bloques para el estándar ATSC con modulación OFDM.....	20
Figura 4.1 Imagen enviada desde Workspace y señal a transmitir.	24
Figura 4.2 (a) Resultado obtenido con un SNR de 6 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	25
Figura 4.3 (a) Resultado obtenido con un SNR de 10 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	26
Figura 4.4 (a) Resultado obtenido con un SNR de 18 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	27
Figura 4.5 Imagen enviada desde Workspace y señal a transmitir con modulación OFDM.	28
Figura 4.6 (a) Resultado obtenido con un SNR de 6[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	29
Figura 4.7 (a) Resultado obtenido con un SNR de 10[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	30
Figura 4.8 (a) Resultado obtenido con un SNR de 18[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.....	31
Figura 4.9 BER vs SNR del estándar ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM.	32
Figura 4.10 Eficiencia entre modulaciones 8-VSB y OFDM para un estándar ATSC....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características Generales de ATSC con modulación 8-VSB	7
Tabla 2.2 Tabla comparativa entre 8-VBS y OFDM	11
Tabla 4.1 Eficiencia del Sistema ATSC bajo modulaciones 8-VSB y OFDM.....	34

RESUMEN

Los sistemas de televisión analógica NTSC (National Television System Committee) siguen siendo reemplazados por sistemas más robustos, que permitan la transmisión de contenido en alta calidad en el menor tiempo posible, esto ha conllevado al desarrollo de diferentes estándares para la televisión digital terrestre (TDT). Los fenómenos de dispersión de la señal transmitida tal es el caso de la lluvia afectan a la modulación 8-VSB, un posible camino de solución es utilizar OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal) que es una modulación más robusta a la interferencia y ruido. Este Proyecto se enfoca en la implementación de las modulaciones 8-VSB (Banda Lateral Vestigial) y OFDM aplicadas sobre el estándar de televisión digital avanzado ATSC (Advanced Television Systems Committee). La implementación de los diferentes diagramas de bloques a través del software Matlab permitió observar el retardo, la tasa de error de bits (BER) y el resultado en la recepción al transmitir datos por un canal AWGN, en el cual se realizó variaciones sobre la relación señal a ruido (SNR) para evidenciar cuál de las modulaciones es la más eficiente. Con los resultados obtenidos se muestra que el estándar ATSC con modulación 8-VSB es más eficiente y con un BER mayor a OFDM, pero posee un mayor retardo en la recepción de datos.

ABSTRACT

The NTSC (National Television System Committee) analogue television systems have to be replaced by more robust systems that allow the transmission of high quality content in the shortest time possible, this has led to the development of different standards for digital terrestrial television (DTT). The dispersion phenomena of the transmitted signal such as the case of rain affect the 8-VSB modulation, a possible solution path is to use OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) which is a more robust modulation to interference and noise. This Project focuses on the implementation of the 8-VSB (Vestigial Lateral Band) and OFDM modulation applied to the advanced digital television (ATSC) standard (Advanced Television Systems Committee). The implementation of the different block diagrams through the Matlab software allowed to observe the delay, the bit error rate (BER) and the result in the reception when transmitting data through an AWGN channel, in which variations were made on the relationship signal to noise (SNR) to show which of the modulations is the most efficient. With the obtained results it is shown that the ATSC standard with 8-VSB modulation is more efficient and with a BER higher than OFDM, but it has a greater delay in the reception of data.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo que ha tenido la televisión digital ha conllevado a obtener muchas ventajas las cuales se relacionan directamente con la calidad de transmisión de señales de audio y video, debido a que una señal digital es más robusta al ruido, en donde se puede realizar transmisiones de varias señales que se encuentren vinculadas con internet y accesos multimedia mismas que ocupan el mismo ancho de banda de la señal.

Para transmisiones de tipo broadcasting el uso de la modulación 8-VSB tiene un bajo costo en implementación y los equipos receptores permiten obtener imágenes de buena calidad. Sin embargo, cuando existen fenómenos como lluvia u otro tipo de fenómeno que dispersa la señal produce más ruido, ante estos fenómenos OFDM es una opción y por ende es necesario evolucionar hacia el nuevo estándar ATSC-3.

Este proyecto de titulación consta de 5 capítulos, en donde se detalla a continuación su procedimiento.

En el capítulo 1 se describe los antecedentes, planteamiento del problema, justificación, objetivos generales y específicos, y metodología con la cual se llevará a cabo este proyecto.

En el capítulo 2 se desarrolla el marco conceptual del estándar ATSC, características y generalidades que corresponden a cada modulación que se va implementar, y una comparación entre el estándar ATSC en función de las dos modulaciones a configurar.

En el capítulo 3 se incluyen diagramas de bloques para la simulación del estándar ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM y la descripción de cada componente, para así lograr abarcar con los objetivos planteados en este proyecto.

En el capítulo 4 se detalla los resultados obtenidos de los parámetros a considerar en las modulaciones antes especificadas, el BER, el retardo que existe en los dos sistemas y la eficiencia a fin de poder comparar y evidenciar qué sistema es el más óptimo.

En el capítulo 5 se describen las conclusiones y las recomendaciones de este proyecto adicionalmente las referencias bibliográficas, y en el apartado del anexo se especifica la interfaz gráfica con la cual controlamos el inicio del proceso de ambos sistemas.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo se detalla el planteamiento del problema, la justificación del problema, los objetivos a cumplirse en la elaboración del proyecto, la metodología utilizada y el grupo objetivo.

1.1 Planteamiento del problema

El cambio de televisión análoga a televisión digital ha sido orientado bajo una serie de estándares y modulaciones que permiten la definición de imagen y video en alta calidad. La transmisión y la recepción de datos bajo estándares demandantes, conlleva a tener problemas de pérdidas de multitrayecto en la recepción de datos en dispositivos finales, por lo tanto, una comparación entre las modulaciones 8-VSB y OFDM implementadas en el estándar de sistemas de televisión digital avanzado ATSC, a fin de conocer la eficiencia, delay, y la tasa de error de bytes en el sistema se podrá valorar que estándar cumple con una mejor calidad a la depuración de problemas de pérdidas de multitrayecto para dichos sistemas.

1.2 Justificación de problema

ATSC se utiliza en comunicaciones multipunto y está diseñado para resistir interferencias por ruido blanco, ruido de fase y reflexiones continuas por multitrayectoria. Considerando que los sistemas de televisión digital han evolucionado con el pasar del tiempo, se han implementado diferentes versiones del mismo para lograr depurar perdidas de multitrayecto en el momento de realizar transmisiones de datos demandantes para el receptor, con el propósito de conocer y analizar dichas mejoras realizadas al estándar ATSC, nos valdremos de un software de simulación con el cual se podrá obtener los resultados requeridos, considerando el grado de eficiencia y parámetros involucrado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Comparar parámetros de eficiencia, delay, y la tasa de error de bytes en el estándar de sistema de televisión digital avanzado ATSC bajo el uso de distintas modulaciones como 8-VSB y OFDM, para determinar cuál modulación es la más óptima

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el sistema de televisión digital avanzada ATSC, para llevar a cabo su implementación en un simulador.
- Implementar ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM, en MATLAB para determinar la eficiencia, delay, y la tasa de error de bytes.
- Comparar los parámetros obtenidos de la simulación realizada en MATLAB del estándar ATSC, y determinar la eficiencia de transmisión, entre dichas modulaciones.

1.4 Metodología

Para la obtención de resultados satisfactorios nos basaremos en la metodología experimental y analítica, debido a que este proyecto de titulación se enfoca en la recopilación de información y datos existentes, los cuales nos permitirán realizar pruebas de simulación utilizando las modulaciones 8-VSB y OFDM sobre el estándar ATSC.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe las características principales del estándar del sistema de televisión digital avanzado ATSC (Advanced Television Systems Committee), y las modulaciones: 8-VSB (Banda Lateral Vestigial), y OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal).

2.1 Estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee)

2.1.1 Generalidades

El estándar de sistema de televisión digital avanzado ATSC, fue establecido en Estados Unidos como estándar de televisión digital en el año de 1995. ATSC fue desarrollado para lograr una transmisión de datos tanto terrestre como por cable a diferente velocidad, este tipo de sistemas de televisión digital comparte al usuario la experiencia de una multiprogramación con definición normal (SDTV), o una sola transmisión de la señal en alta definición (HDTV), la interactividad de comunicaciones entre usuarios sobre un mismo canal con un ancho de banda de 6 MHz por donde se transmiten datos, video y audio con una tasa de transmisión de 19,39 Mb/s son para canales de transmisión terrestre, y con una tasa de transmisión de 38 Mb/s para canales de televisión por cable. (Sandoval, 2011a)

La idea principal del diseño de este estándar fue con el fin de poder realizar un reemplazo del sistema de televisión análoga NTSC. ATSC es un sistema robusto que logra realizar transmisiones bajo condiciones de ruido blanco, ruido de fase, y reflexiones continuas de multitrayecto. (Chie, Zambrano, & Medina, 2015)

La evolución del estándar ATSC a un estándar ATSC 2.0, tiene gran sostenibilidad en lo que se refiere a televisiones híbridas y la capacidad de poder interactuar directamente con internet, en donde la transmisión de datos es realizada por medio de cable o aire. A pesar de que en su nombre denota la numeración 2.0 no consta como una segunda generación, por el motivo que no existió ninguna mejora en la capa física, ni en el aumento de flujo de información, sino que es relacionado con televisión híbrida e interactiva. El sistema ha venido desarrollando un nuevo estándar ATSC 3.0 el cual tiene una visión distinta de sus primeras versiones, este nuevo estándar consta como una generación 3.0 del sistema

de televisión digital avanzado ATSC debido a que existe una mejora relevante en su capa física de difusión de datos lo que conlleva a satisfacer la gran demanda de conectividad de usuarios multimedia, esta versión todavía se encuentra en procesos de estandarización. ATSC 3.0 ya no es funcional con las versiones precedentes a esta, ya que tiene como primera estancia relacionarse directamente con Internet como parte de la correlación de las tecnologías actuales brindando una nueva forma de interactividad mediante el uso del protocolo de Internet IP. (Oscar, Jiménez, & Ramírez, 2016)

2.1.2 Características básicas de un sistema ATSC

En la Figura 2.1 se detalla el diagrama de bloques general del sistema de televisión digital avanzado ATSC, se divide en 3 subsistemas; comprensión y codificación de fuentes, transporte y multiplexación de los servicios, y el sistema de transmisión de radiofrecuencia, los cuales determinan la transmisión y optimización de las características de la señal en recepción.

Figura 2.1 Diagrama de bloques general de un sistema ATSC

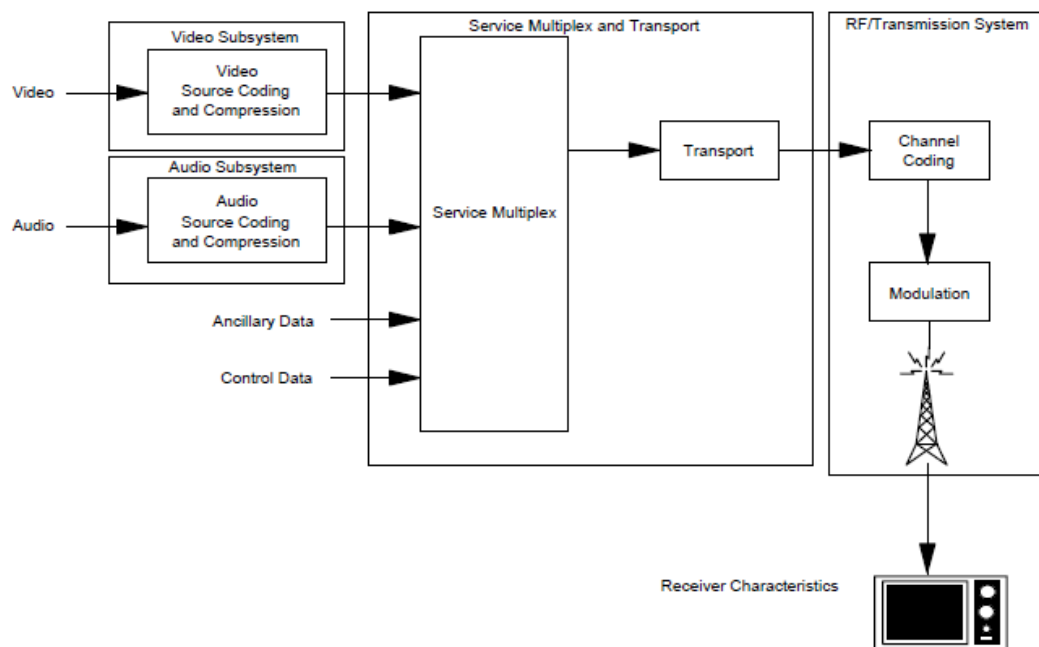


Diagrama de bloques general de un sistema de televisión digital avanzado ATSC. (ATSC, 2011)

La codificación y comprensión de fuente es la primera etapa por donde van a ser tratados los datos, en la parte de comprensión utiliza métodos para la minimización de la velocidad

de bits en flujos de datos de video, audio y datos auxiliares. Los datos auxiliares hacen referencia a servicios de programas totalmente independientes y datos de control. El objetivo primordial en la codificación de datos es de mermar la cantidad de bits necesarios los cuales van a simbolizar la información referente a datos de video, audio y datos auxiliares. En la siguiente etapa del procesamiento de datos para un sistema general de televisión digital avanzado después de que la información sea comprimida y codificada es su multiplexación y transportación, la multiplexación de datos indaga los métodos o formas de multiplexar los datos que se están enviando (audio, video y datos auxiliares), las técnicas que se le da a un flujo de datos para su fragmentación en “paquetes de información”, y las maneras de como poder identificar dicho paquete. Para la transportación de los paquetes de información, este sistema desarrolla mecanismos de interoperabilidad entre medios digitales como son la difusión por cable, satelital y terrestre. En la tercera y última etapa de un sistema general de televisión digital avanzado es la radiofrecuencia y el sistema de transmisión, esto se refiere a la trata del canal de transmisión tanto su codificación como su modulación, el codificador del canal suma información adicional o bits redundantes al flujo de datos con la finalidad de que el receptor logre reconstruir la señal sin problemas de transmisión. En el proceso de la modulación, esta utiliza la información del flujo de datos digitales para modular la señal transmitida. (ATSC, 2011)

2.2 Modulación 8-VSB

2.2.1 Generalidades

La modulación 8-VSB (banda lateral vestigial) se fundamenta en la modulación de amplitud de pulsos (PAM), el número 8 indica que la portadora se modula en 8 niveles discretos. (Pérez, 2015)

Es independiente y utiliza una sola portadora por lo que se le considera monoportadora, y tiene una tasa de transmisión de 19 Mbps. (Sandoval, 2011a)

2.2.2 Características de la modulación 8-VSB

En la Tabla 2.1 se consideran las características más relevantes del sistema de modulación 8-VSB.

Tabla 2.1 Características Generales de ATSC con modulación 8-VSB

Parámetro	Modulación 8-VSB
Ancho de banda del canal	6 MHz
Relación de símbolos	10.762 M símbolos/s
Eficiencia de ancho de banda	3 bits /símbolo
Relación Codificador Trellis	2/3
Reed Solomon (RS)	T=10(207, 187)
Duración del segmento de sincronismo	4 bit por segmento
Sincronismo de trama	1 bit por cada 313 segmentos
Velocidad de datos	19.39 Mbps

Fuente: (Sandoval, 2011a)

2.2.3 Estándar ATSC con modulación 8-VSB

En la Figura 2.2 se detalla el diagrama de bloques funcional del servicio principal para un sistema de televisión digital avanzado ATSC empleando una modulación 8-VSB, en donde se consideran las etapas de procesamiento de la transmisión de información (audio, video y datos).

Figura 2.2 Diagrama para un transmisor ATSC con modulación 8-VSB

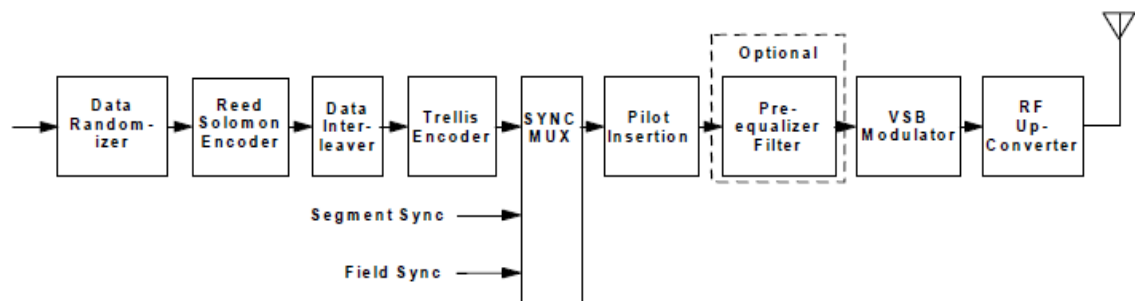


Diagrama de bloques funcional del servicio principal de sistema de televisión digital avanzado ATSC con modulación 8-VSB. (ATSC, 2011)

La información que se quiere transmitir ya sea audio, video o datos por el sistema, en primer lugar se debe de codificar y comprimir los datos fuentes, en el caso de los sistemas ATSC utiliza una sintaxis MPEG-2 para lograr la codificación y la compresión de datos de video (Sparano, 1997). Este flujo comprimido de datos se asemejan a la tasa de

transmisión del sistema el cual es 19.38 Mbps, es también denominado “nivel de transporte ATSC”, y en el caso del audio digital utiliza la norma AC-3. (Sandoval, 2011a)

Los datos entrantes son aleatorizados, a fin de obtener datos con similitud al ruido, es importante realizarlo debido a que la respuesta de frecuencia de la señal que se está transmitiendo requiere tener un espectro plano, para obtener una recepción de datos con una máxima eficiencia. (Sparano, 1997)

Posteriormente se agregan bits de paridad para la detección y corrección de errores, esto se realiza mediante el bloque de datos Reed Solomon (RS), el código RS utilizado en este subsistema será: $t = 10(207,187)$, es decir, este código puede corregir 10 bytes entre un grupo de 207 bytes. (ATSC, 2011)

Si existen demasiados errores en la información enviada, el receptor no encuentra una pareja para la etiqueta de paridad por lo mismo no puede ser validada la información y por ende es desechado completamente el paquete de información. (Sparano, 1997)

Para evitar que existan los errores de ráfaga en la transmisión es necesario que exista una protección de la señal, el entrelazador es el dispositivo que brinda protección a la señal para cuando existen pérdidas de barrido de paquetes. Este tipo de dispositivo es convolucional y con una longitud de 52 segmentos de dato, solo entrecruza los bytes de datos y los de paridad que fueron adicionados por el bloque anterior. (Pérez, 2015).

El codificador Trellis o entrelazador Trellis, realiza una doble protección de errores, utiliza una tasa de $2/3$, en donde, por cada 2 bits de datos se adiciona un bit de redundancia, como resultado se obtiene un código binario de 3 bits que reemplaza códigos de 2 bits originales y se transmiten como símbolos de 8 niveles de la modulación 8-VSB que utiliza el modulador. Para que el receptor logre reconstruir y recuperar la señal correcta y eficazmente se insertan señales auxiliares, o señales piloto ATSC con las que se logra mantener el sincronismo de datos (relaciones de amplitud y tiempo). (Pérez, 2015; Sparano, 1997)

2.3 Modulación OFDM

2.3.1 Generalidades

La modulación OFDM es la multiplexación por división de frecuencia ortogonal, la idea fundamental de la modulación OFDM es utilizar multiportadoras paralelas de información al momento de la modulación y demodulación (Mauricio & González, 2008). Una característica muy importante que tiene la modulación OFDM es que utiliza la transformada rápida de Fourier (FFT) para eliminar interferencias multi-path o interferencia “fantasma” que existe entre la transmisión de sub-portadoras o transmisiones intersimbólicas. (Armstrong & Member, 2008)

Es usada principalmente para la transmisión de señales de televisión digital y radiodifusión. (Márquez, 2012)

Las modulaciones multi-portadoras en comparación con las monoportadoras tienen gran flexibilidad con la adaptación de enlaces y una alta eficiencia espectral. Debido a su fácil adaptación tiende a tener en ocasiones alta sensibilidad de errores por la desincronización de frecuencia o de tiempo. (Vargas, Lopez, & Rocha, 2011)

2.3.2 Estándar ATSC con modulación OFDM.

ATSC posee características similares al estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) adoptado por los países Europeos, pero tanto la codificación del canal, como la modulación y el ancho de banda son diferentes, esto ocasiona que los sistemas sean incompatibles. (Pérez, 2015)

En la Figura 2.3 se detalla el diagrama de bloques general para un transmisor con modulación OFDM, en donde se consideran las etapas de procesamiento de la transmisión de información (audio, video y datos) de alta y baja prioridad.

Figura 2.3 Diagrama para un transmisor DVB-T con modulación OFDM

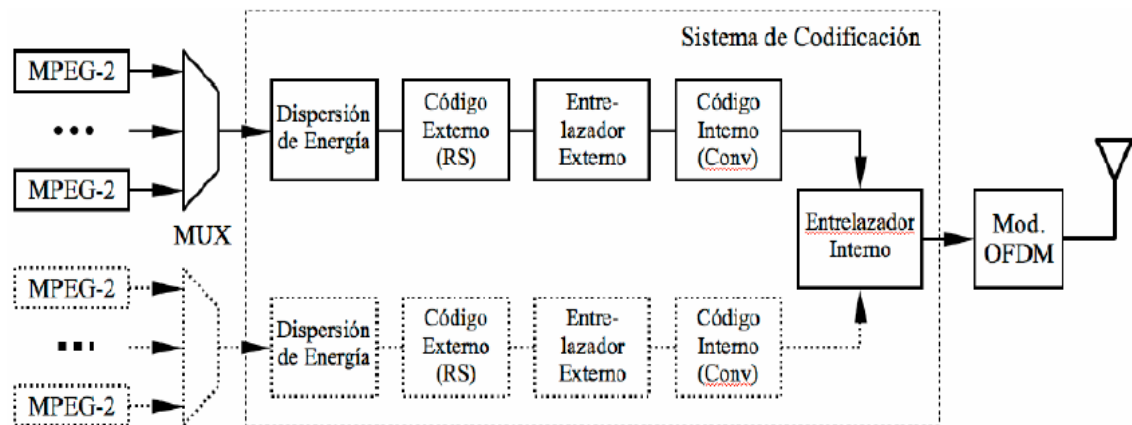


Diagrama de bloques funcional para un transmisor DVB-T con modulación OFDM (Sandoval, 2011b)

Para realizar una transmisión de datos por medio de los sistemas ATSC y DVB-T, se precisa que los datos entrantes sean un flujo binario síncrono, de forma similar el modulador de ambos sistemas, se encuentra dividido en dos partes: la primera parte se encarga de la codificación de canal, esto quiere decir que se encarga de la dispersión de energía, la codificación y corrección de errores mediante RS, además del trellis o codificación convolucional y el intercalado interno. La segunda parte es la modulación, en este apartado se encuentra incluido el mapeo y la inserción de piloto.

La corrección de errores RS utilizado en el sistema DVB-T difiere del utilizado en ATSC, puesto que el código en DVB-T puede corregir 8 bytes entre un grupo de 204 bytes, mientras tanto en ATSC el código puede corregir 10 bytes entre un grupo de 207 bytes, o errores de símbolo por bloque de dato. (Pérez, 2015)

Otra diferencia de gran importancia se encuentra en la codificación convolucional, esto es debido a que ATSC permite únicamente un código con tasa de $2/3$, y DVB-T agrega una segunda capa de protección de errores en el grupo de 204 bytes, la cual puede operar con tasas de $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, y $7/8$. En el caso de un alto índice de medida de protección de datos es aconsejable mantener la tasa de $1/2$ ya que permite su decodificación a mayores distancias, pero la tasa de transmisión de bits es más lenta debido a que por cada 8 bits que transmita 4 bits son portadores de información. (Sandoval, 2011b)

El estándar DVB-T utiliza portadoras para datos en modo 2K (2048 portadoras) y 8k (8192 portadoras), la modulación empleada puede ser de los siguientes tipos: 64QAM o QPSK, de manera similar ATSC solo puede emplear el modo 2K. (Massel, 2003)

2.4 Comparación entre Modulación 8-VSB y Modulación OFDM

En la Tabla 2.2 se presentan comparaciones de las características más considerables del funcionamiento operacional que existe entre las modulaciones 8-VSB y OFDM al transmitir datos de información.

Tabla 2.2 Tabla comparativa entre 8-VBS y OFDM

Modulación 8-VSB	Modulación OFDM
No está diseñado para la transmisión de datos por múltiples vías.	Soporta transmisiones de multicamino es inmune a interferencias por múltiples vías.
Mantiene una tasa de bits de aproximadamente 19 Mbps por un canal de ancho de banda de 6 MHz.	La tasa de bits por un canal de ancho de banda de 6 MHz es aproximadamente 2% menos a 19 Mbps.
No utilizable para transmisión de datos en dispositivos móviles.	Funciona satisfactoriamente en dispositivos en movimiento.
Es más eficiente en grandes áreas rurales.	Es más eficiente en entornos urbanos.
La implementación física de sistemas de modulación 8-VSB tiene un valor más costoso.	La implementación del hardware de sistemas de modulación OFDM tiene un precio módico.

Fuente:(Strassberg & Editor, 2000; Wu, 1999)

CAPÍTULO 3

SIMULACIÓN DEL ESTÁNDAR ATSC EN SIMULINK UTILIZANDO MODULACIONES 8-VSB Y OFDM.

En este capítulo se detalla cada uno de los principales bloques utilizados en el sistema de televisión digital avanzado ATSC sometido a las siguientes modulaciones: 8-VSB y OFDM.

Para el desarrollo de esta simulación el software utilizado será: Simulink versión 8.9, el cual es una herramienta de Matlab que por medio de programación en bloques, analiza, modela y simula sistemas lineales y no lineales. (Cantos & Tapuy, 2011)

3.1 Diagrama de bloques: transmisión y recepción del estándar ATSC con modulación 8-VSB

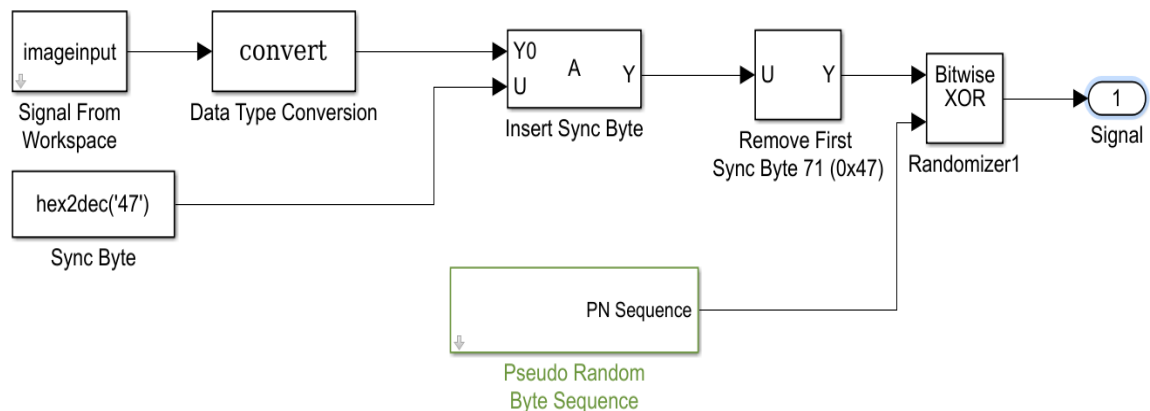
En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques de transmisión y recepción de datos para el estándar ATSC con modulación 8-VSB, realizado en Simulink.

A continuación, se describe cada uno de los bloques empleados en la simulación del estándar ATSC con modulación 8-VSB.

3.1.1 Signal o generador de señal

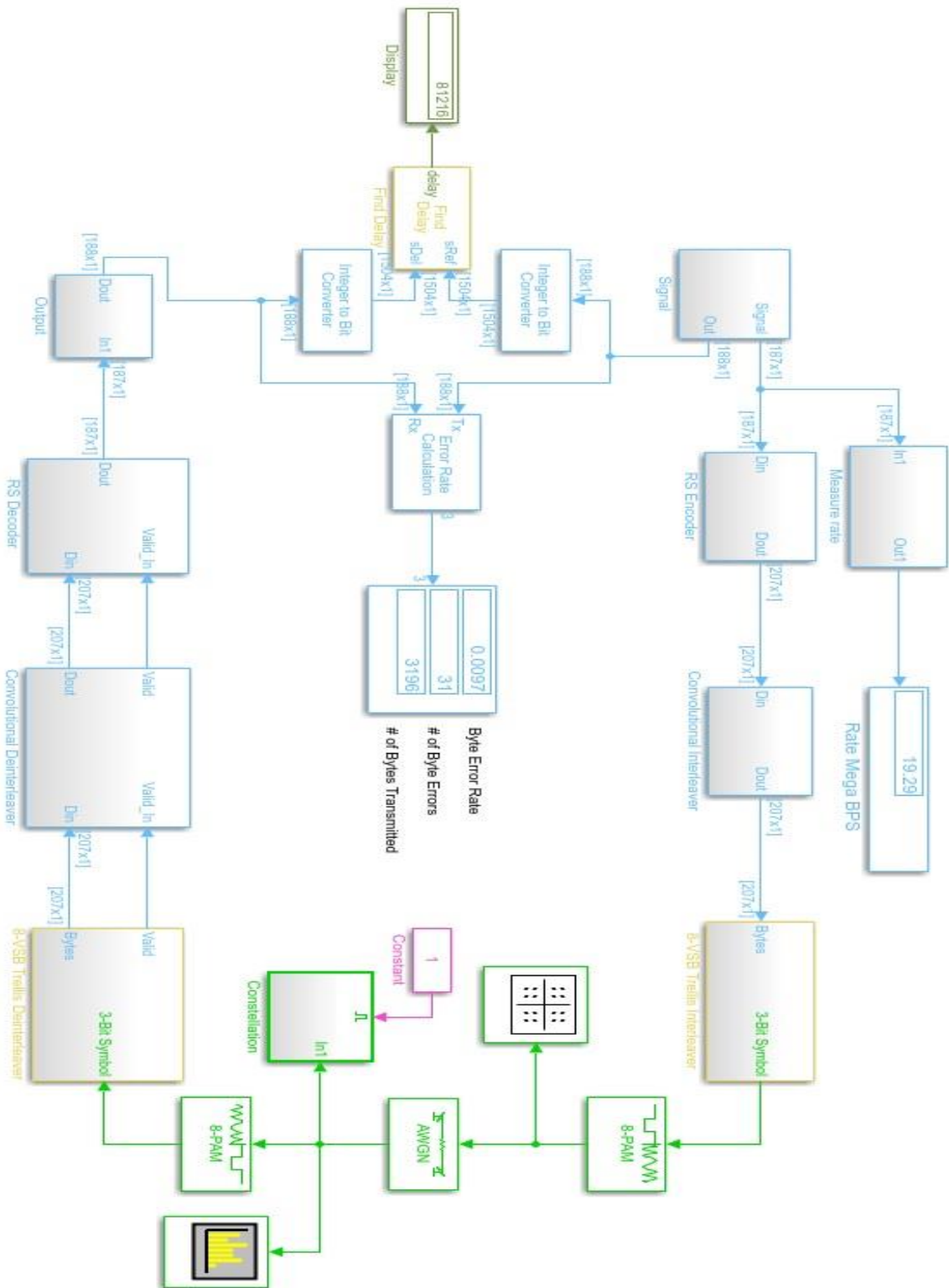
Este subsistema es un conjunto de diferentes bloques que permiten la compresión de los datos enviados a través del transmisor, en Figura 3.2 se muestra el diagrama de bloque del generador de señal o Signal.

Figura 3.1 Componentes del subsistema Signal o generador de señal



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 3.2 Diagrama de bloques del estándar ATSC con modulación 8-VSB.



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

El bloque principal para este subsistema es “Signal From Workspace”, este bloque se encarga de entrelazar el código y las variables utilizadas en Workspace a través del parámetro Signal, en este caso se utilizará como fuente de datos una imagen RGB de resolución ONE SEG con dimensiones de [199x169] pixeles, para facilitar el procesamiento de la imagen. El parámetro Sample per Frame se encuentra definido como 188, debido a que un paquete de flujo de transporte MPEG-2 tiene 188 bytes de longitud. (Dionísio & Akamine, 2017)

El bloque MPEG Sync Byte proporciona el byte de sincronización 0x47, el cual reemplazara el primer byte de la fuente de datos a través de los bloques Insert Sync Byte y Remove First Sync Byte, el cual es un selector con un tamaño de entrada de 188 bytes y los siguientes bloques se encargan de aleatorizar la carga útil de datos.

3.1.2 Codificador Reed Solomon

El codificador de detección y corrección de errores Reed Solomon utilizado para 8-VSB tiene un código RS (n, k), en donde n representa el tamaño de bloque total, y k el tamaño del bloque de datos, por lo tanto el estándar ATSC define estos parámetros como (207, 187) bytes. (ATSC, 2011)

Los parámetros configurados en el bloque RS Encoder son los siguientes: “Codeword length N” representan los 20 bytes de paridad adicionados a los bytes del tamaño de bloque, es decir 207 bytes, el siguiente parámetro es “Message length K” que representa el tamaño del bloque de datos, establecido en 187 bytes.

3.1.3 Entrelazador convolucional

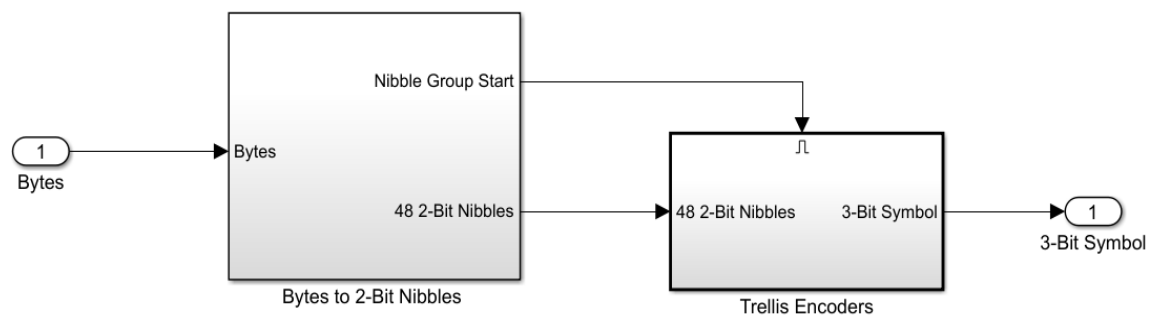
Este bloque evita errores de ráfaga, el entrelazado para VSB se realiza a una profundidad de 1/6 del campo de datos, esto quiere decir 4 ms de profundidad aproximadamente (representa el número de bytes por fila), y tiene una longitud de 52 segmentos de datos (número de filas). (ATSC, 2011)

Los parámetros configurados son: “Rows of shift registers” que representa la longitud de bytes convolucional, y en la parte de “Register length step” se representa el incremento en el número de bytes por recorrido, es decir 52 segmentos y 4 ms respectivamente.

3.1.4 Trellis Interleaver

Los datos que ingresan al entrelazador Trellis deben ser convertidos en grupos de 48 nibbles de 2 bits, debido a que los datos son procesados por doce codificadores trellis, cada grupo de 48 nibbles contiene 12 bytes de datos y crea 48 símbolos de 3 bits después de la codificación Trellis, por lo tanto se crea una segunda capa de protección de errores (ATSC, 2011). En la Figura 3.3 se detalla los componentes que forman parte del bloque Trellis Interleaver.

Figura 3.3 Componentes del Subsistema Trellis Interleaver



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Los 207 bytes que ingresan al sub bloque “Bytes to 2-Bit Nibbles”, son transformados de bytes a bits por el bloque “Integer to bit converter”, los bits resultantes son convertidos a 48 nibbles de 2 bits con el bloque “Bit to integer converter”, y el “Buffer” se encarga de almacenar el grupo de 48 nibbles de 2 bits. El sub bloque “Trellis Encoder” utiliza los 12 codificadores enrejados sobre el grupo de 48 nibbles, con la utilización de un codificador diferencial, un codificador convolucional de 4 estados y un asignador de símbolos de 8 niveles se realiza el proceso de codificación entregando 3 bit symbol a la salida del trellis Encoder. (ATSC, 2011)

3.1.5 Modulador 8-PAM

La modulación 8-VSB se fundamenta en la modulación de amplitud de pulsos, por lo tanto se utilizara el bloque “8-PAM”, el cual sincroniza el mapeado de símbolos, este asigna entradas de 3 bits por símbolo en una constelación real unidimensional de 8 niveles con valores de [-7 -5 -3 -1 1 3 5 7]. (ATSC, 2011)

Cuando la señal es modulada sobre una portadora de frecuencia intermedia produce un amplio espectro de frecuencia intermedia de doble banda lateral, ocasionando que sea

imposible transmitir la señal sobre un canal de 6MHz. Para poder transmitir la señal sin pérdidas de información se procede con la eliminación de la banda lateral inferior utilizando un filtro de banda angosta (Filtro de Nyquist). (Navigation & Route, 2006)

Los parámetros configurados en este bloque son: “M-ary number”, el cual representa el número de puntos en la constelación y se establece con un valor de 8, “Input type” se configura como Integer, debido a que acepta valores comprendidos entre 0 y el valor establecido en “M-ary number”, el parámetro “Constellation ordering” asigna cada grupo de bits de entrada a un entero y se encuentra configurado como Binary para obtener una constelación real unidimensional.

3.1.6 Canal AWGN

El propósito del canal AWGN es el de insertar ruido blanco en la portadora, afectando en recepción la fase (I) y la cuadratura (Q) de la señal, a fin de que la transmisión de la señal no parezca ideal. (Acuña Molina & Terán Jaramillo, 2017)

El bloque “AWGN” se encuentra configurado en modo relación señal a ruido (SNR), con el parámetro “Input signal power” definido 4.5826 watts y “Initial seed” con un valor de 67.

3.1.7 Demodulador 8-PAM

Este bloque tiene las mismas características de configuración del modulador 8-PAM, por lo tanto, dicho bloque se encarga de la conversión de los símbolos de la constelación real unidimensional de 8 niveles en salida de enteros de 3 bits.

8-VSB posee dos filtros de Nyquist, uno para reducir el ancho de banda transmitido y el otro para eliminar la interferencia del canal adyacente, el segundo filtro de Nyquist se encuentra ubicado en el receptor. (Navigation & Route, 2006)

Los parámetros configurados en el bloque “8-PAM” son los siguientes: “Output type” definido en Integer, “M-ary number” con un valor de 8, debido a que representa el número de puntos en la constelación y solo acepta un entero par, finalmente el parámetro “Constellation ordering” definido como Binary.

3.1.8 Decodificador Trellis

Transforma la entrada de 3 bits seriales en bytes paralelos, esto se logra concatenando los bits decodificados en bytes, el bloque “2 Bit Nibbles to Byte”, convierte el grupo de 48 nibbles almacenados en el “Buffer” a paquetes de 207 bytes. En la salida del Decodificador Trellis se tiene un retardo de 159 bytes para la alineación de trama, esto se debe a que el codificador y decodificador Trellis inserta 255 bytes de retraso en el sistema. (MathWorks, 2015)

3.1.9 Desentrelazador Convolutacional

Este bloque mantiene los mismos parámetros del codificador convolutacional, se establece la longitud de bytes convolutacionales y la profundidad del intercalado, es decir 52 segmentos y 4 ms respectivamente. Existe un retardo de 156 bytes en la salida del desentrelazador convolutacional, esto se debe a que el codificador y decodificador convolutacional insertan 10608 bytes de retraso en el sistema. (MathWorks, 2015)

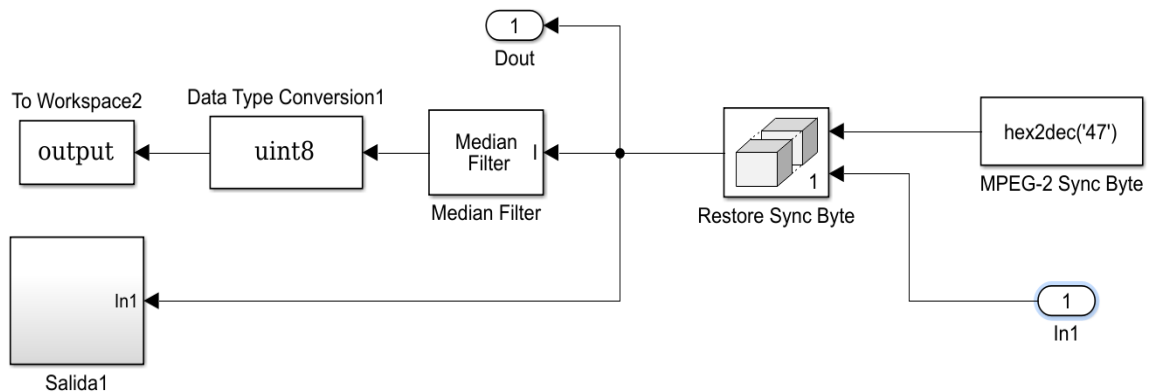
3.1.10 Decodificador Reed Solomon

Este bloque además de tener el decodificador RS tiene un derandomizer, la señal a decodificar primero es tratada por el “RS Decoder” el cual tiene las mismas características de configuración del codificador RS, se consideran el número del tamaño del bloque total y el número del tamaño del bloque RS, es decir 207 y 187 bytes respectivamente. Posteriormente continúa con el proceso “derandomizer”. (MathWorks, 2015)

3.1.11 Salida de datos/Output

El subsistema se encuentra conformado por dos partes para la obtención de la imagen RGB. La Figura 3.4 muestra el diagrama que conforma la salida de datos.

Figura 3.4 Componentes del subsistema “Output o salida de datos”



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

El bloque “MPEG-2 Sync Byte” inserta el byte de sincronización 0x47, con lo cual obtendremos los 188 bytes para un flujo de transporte MPEG-2. El bloque “Median Filter”, reduce el ruido generado a través de la transmisión. Para finalizar se usa el bloque “To Worskpace”, el cual permite mostrar los resultados obtenidos sobre la imagen en ventanas separadas.

3.1.12 Error Rate Calculation

Este bloque no considera la magnitud de los datos de entrada, por lo tanto, puede calcular el error de símbolo o de bit. En su salida presenta un vector con una longitud total de tres, que representan: la tasa de error de bytes BER, el número de errores de bytes y el número de bytes transmitidos. Los puertos de Tx y Rx permiten datos enteros con o sin signo entre 8, 16 y 32 bits. (MathWorks, 2006)

3.1.13 Find Delay

Permite encontrar el retardo entre la señal original del transmisor y la señal recibida por el receptor, la salida se despliega como el retardo en unidades de muestras. (MathWorks, 2012)

3.2 Diagrama de bloques: transmisión y recepción del estándar ATSC con modulación OFDM.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior ATSC posee ciertas similitudes con el estándar DVB-T, lo cual hace posible la implementación de ATSC con modulación OFDM.

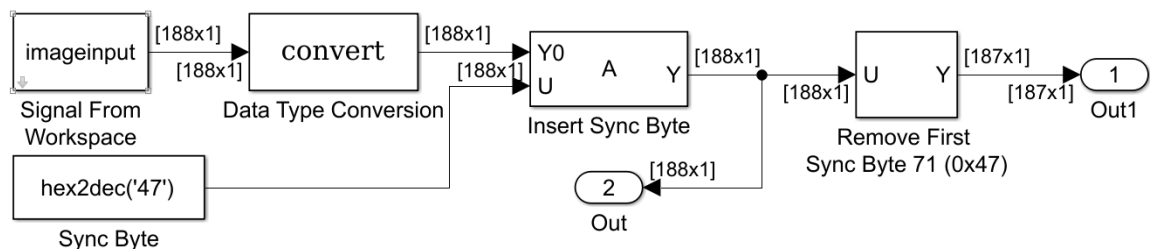
En la Figura 3.5 se observa el diagrama funcional elaborado en Simulink para transmisión y recepción del estándar ATSC aplicando modulación OFDM.

A continuación, se realiza una especificación de los bloques utilizados en el simulador para la representación tanto del transmisor y receptor de un sistema ATSC utilizando modulación OFDM

3.2.1 Signal o generador de señal

En la Figura 3.6 se muestra el diagrama de bloque del generador de señal o signal para el sistema ATSC con modulación OFDM.

Figura 3.5 Componentes del subsistema Signal o generador de señal



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Este subsistema sigue manteniendo la compresión de datos MPEG-2, como en el caso para la modulación 8-VSB. Su principal diferencia es la eliminación de los bloques para la aleatorización de datos, esto es debido a que en la respuesta de frecuencia no requerimos un espectro plano para obtener una óptima recepción de datos como en la modulación 8-VSB. (Sparano, 1997)

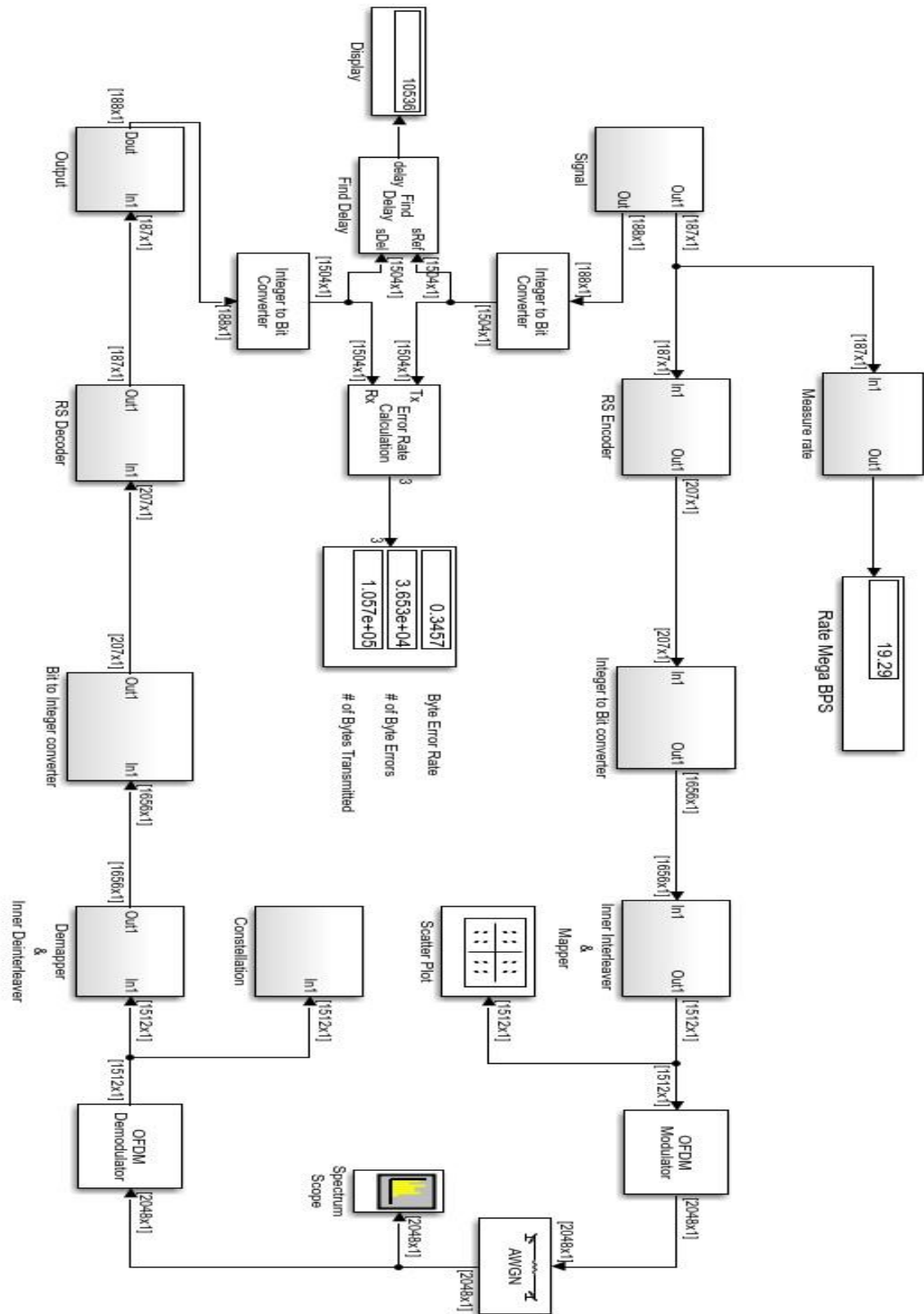
3.2.2 Codificador Reed Solomon

Como se indicó en la modulación 8-VSB, este bloque se encarga de la corrección de errores, esto quiere decir que emplea los mismos parámetros ya definidos para el estándar ATSC, donde $N = 207$ y $K = 187$.

3.2.3 Convertidor de enteros a bits

El número de bits por entero convertidos tendrá de un valor de 8, y el orden de los bits de salida será primero desde el bit más significativo (MSB). El tipo de salida de datos debe ser de tipo boolean, ya que estamos pasando los enteros a bits. (Castro, 2010)

Figura 3.6 Diagrama de bloques para el estándar ATSC con modulación OFDM.



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

3.2.4 Codificador interno

En un sistema con modulación OFDM la entrada de datos es una trama serial codificada o sin codificar (Jiménez, Parrado, Quiza, & Suárez, 2001). Por lo tanto, este bloque se encarga de evitar los errores de ráfaga separando los bits para luego ordenarlos. (Castro, 2010)

3.2.5 Mapper 64-QAM

En la etapa de mapeo los datos forman símbolos con una longitud de n bits, dicha longitud varía de acuerdo al esquema de modulación utilizada como: M-QAM o M-PSK, en esta simulación utilizaremos una constelación de 64-QAM, los datos resultantes del mapeo son 1512 símbolos ortogonales entre sí. (Jiménez et al., 2001)

3.2.6 Modulación OFDM

Los símbolos ortogonales son almacenados por el Buffer, para posteriormente introducirlos en la etapa de la IFFT, con lo cual se generará símbolos OFDM, la trama de datos resultantes al dividir el ancho de banda con un número N de sub portadoras en la etapa IFFT constituye la modulación OFDM, a continuación, el intervalo de guarda es agregado a cada símbolo OFDM con el fin de suprimir la ISI (interferencia intersímbolo). (Jiménez et al., 2001)

El bloque OFDM modulator utilizara portadoras para datos, la longitud de la IFFT es de 2K y los parámetros configurados son los siguientes: “FFT Length” con 2048 subportadoras, “Number of guard bands” conformado por un vector de [268; 268], el cual permitirá obtener los datos almacenados en el Buffer y el parámetro “Cyclic prefix length” con un valor de 0.

El prefijo cíclico es utilizado para evitar la interferencia intersímbolo y para mantener la ortogonalidad, La duración de dicho prefijo suele estar referido a la duración del símbolo OFDM, para esto se añade una cola de ceros de la misma longitud que el prefijo cíclico, esto se denomina Zero-Padding, un prefijo de corta duración es utilizado cuando se espera un entorno de propagación de baja dispersión. (Gallardo Moreno, 2006)

3.2.7 Demodulador OFDM

Realiza el proceso inverso al modulador OFDM por lo tanto demodula la señal por símbolos, y posee las mismas características de configuración del modulador OFDM, en su entrada estarán las 2048 portadoras pertenecientes al modo 2K.

Matlab permite el uso de un ecualizador en dominio de la frecuencia que es el más común y simple para obtener la corrección del desvanecimiento del canal y rotaciones de fase que afectan a la señal recibida. (Polbachi, 2011)

3.2.8 Demaper 64-QAM & Inner Deinterleaver

Para el bloque “Rectangular QAM Demodulator”, el parámetro configurado será: M-ary number con un valor de 64, a continuación, los datos enteros resultantes serán convertidos en bits para pasar al Inner Deinterleaver, donde se realizará el desentrelazado de símbolos, para finalizar el “Buffer” almacenará los 1656 bits resultantes del desentrelazado.

Matlab permite utilizar un sincronizador de portadoras piloto continuas para la sincronización de la estructura lo cual recupera la características de modulación y del canal, sincroniza la frecuencia en el receptor, fase e inicio de símbolo. (Alsinella Fernández, 2008)

3.2.9 Convertidor de bits a enteros

Convierte los bits almacenados por el Buffer a enteros, el número de bits por entero convertidos es 8 y el orden de entrada de los bits es desde el más significativo (MSB). El tipo de salida de datos es uint8, esto quiere decir enteros de 8 bits.

3.2.10 Decodificador Reed Solomon

Decodifica los enteros resultantes de la conversión con un código RS de (207,187), donde: 207 bytes representan la longitud de la palabra (N) y 187 bytes la longitud del mensaje (K), estos parámetros tienen que coincidir con los valores definidos en el codificador RS.

3.2.11 Salida de datos/Output y Find Delay

El subsistema “Output”, es similar a la modulación 8-VSB, debido a que los dos sistemas utilizan MPEG-2 como medio de compresión de datos, por lo tanto, se insertará el byte de sincronización 0x47 para obtener los 188 bytes pertenecientes al flujo de transporte MPEG-2, además se reducirá el ruido en la imagen RGB a través del bloque “Median

Filter”, para posteriormente desplegar los resultados obtenidos en la transmisión de la imagen. El bloque “Find delay”, mostrara el retardo producido en la señal, para lo cual es necesario definir el parámetro “Correlation window length” con un valor igual o mayor al tamaño de la imagen transmitida, en nuestro caso está definido como 100892, debido a que es el tamaño en bits de la imagen RGB.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

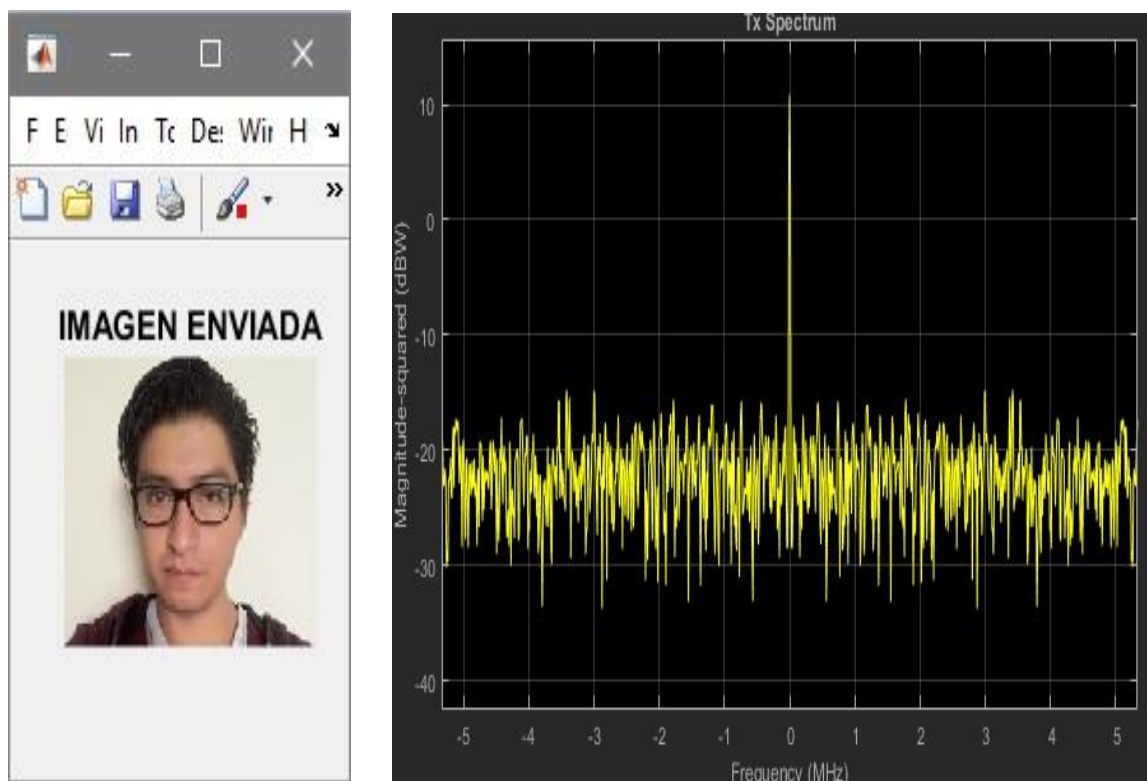
Este capítulo muestra los resultados que se obtuvieron en la simulación del estándar de televisión digital avanzado ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM, con el fin de comparar los parámetros de eficiencia, delay y la tasa de error de bytes para determinar que modulación es la más óptima al transmitir datos en una señal bajo dicho estándar.

4.1 Resultados obtenidos en la imagen RGB con modulación 8-VSB

En las siguientes figuras se mostrarán los cambios obtenidos sobre la imagen, constelaciones y espectro de la señal al variar el SNR con valores de 6, 10 y 18 [dB].

En la Figura 4.1 se muestra la imagen y la señal a transmitir para la modulación 8-VSB.

Figura 4.1 Imagen enviada desde Workspace y señal a transmitir.

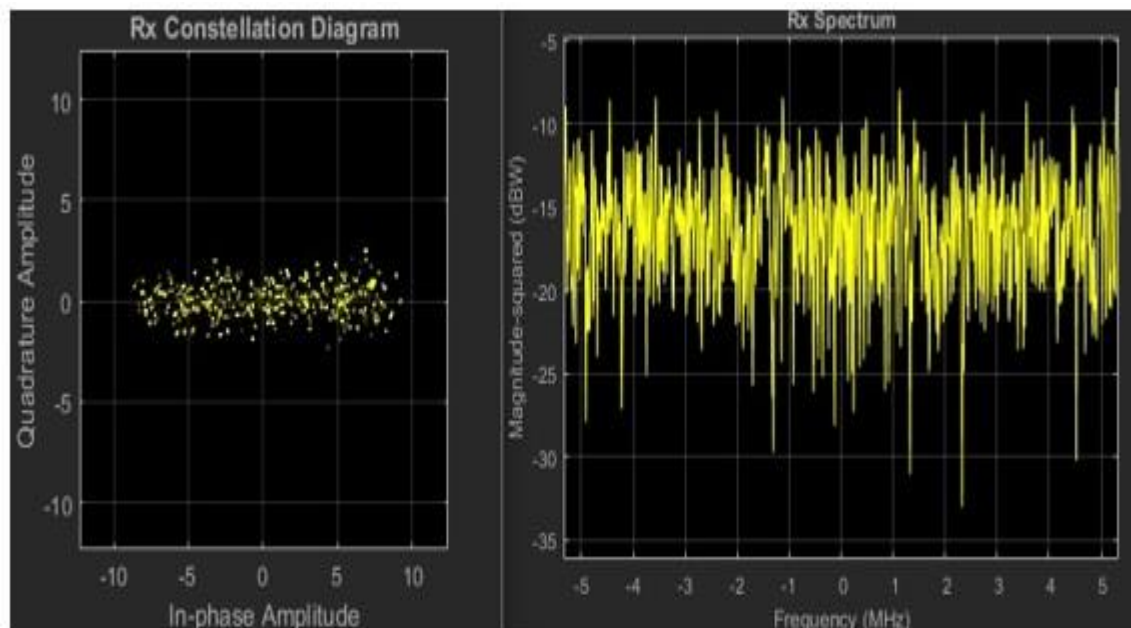


Estándar ATSC con modulación 8-VSB. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 4.2 (a) Resultado obtenido con un SNR de 6 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.



(a)



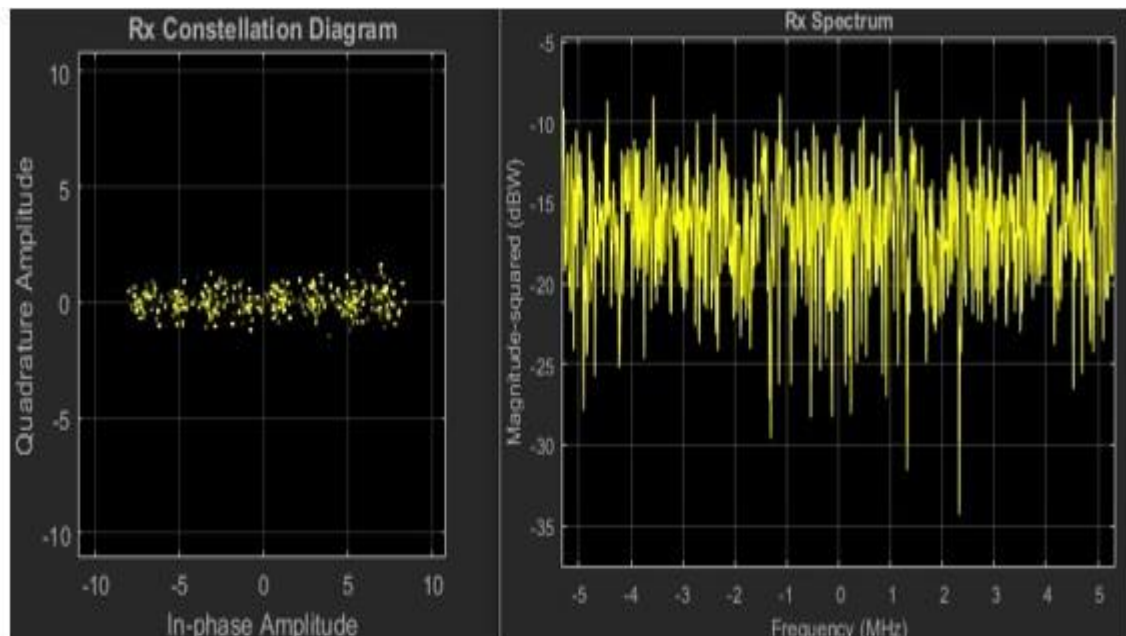
(b)

Estándar ATSC con modulación 8-VSB. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 4.3 (a) Resultado obtenido con un SNR de 10 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.



(a)



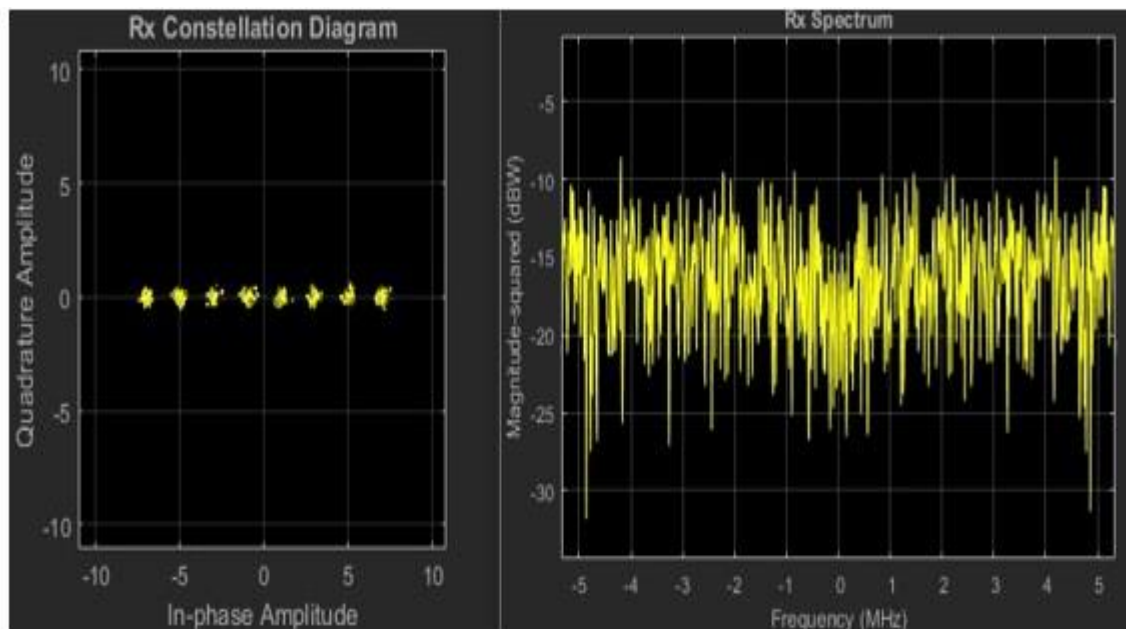
(b)

Estándar ATSC con modulación 8-VSB. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 4.4 (a) Resultado obtenido con un SNR de 18 [dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.



(a)



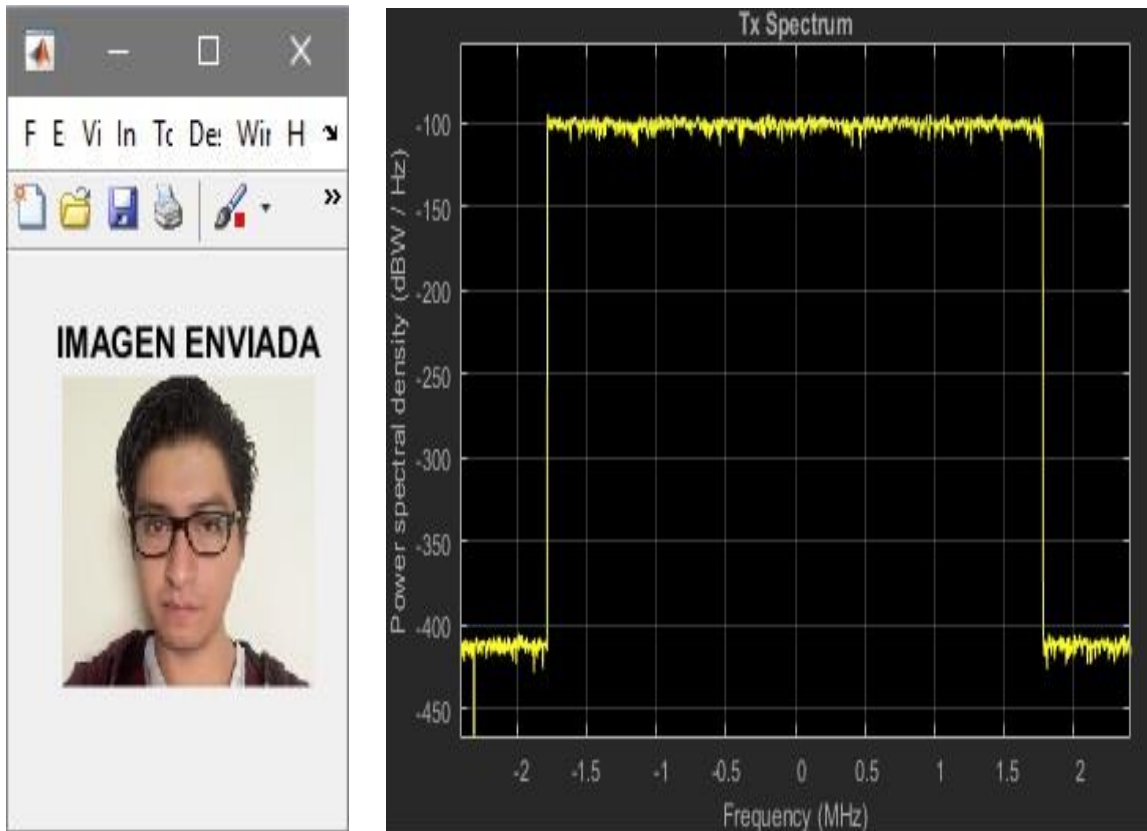
(b)

4.2 Resultados obtenidos en la imagen RGB con modulación OFDM

A continuación, se muestran los cambios obtenidos sobre la imagen, constelaciones y espectro de la señal, al aplicar las mismas variaciones de SNR realizadas en la modulación 8-VSB.

En la Figura 4.5 se muestra la imagen y la señal a transmitir para la modulación OFDM.

Figura 4.5 Imagen enviada desde Workspace y señal a transmitir con modulación OFDM.

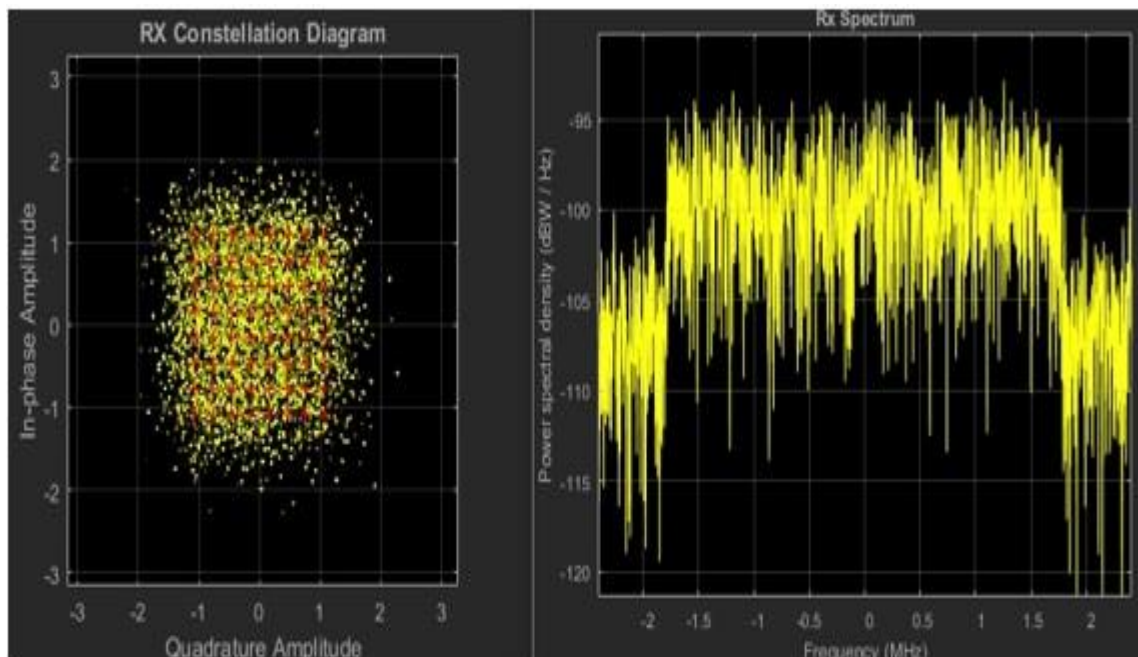


Estándar ATSC con modulación OFDM. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 4.6 (a) Resultado obtenido con un SNR de 6[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.



(a)



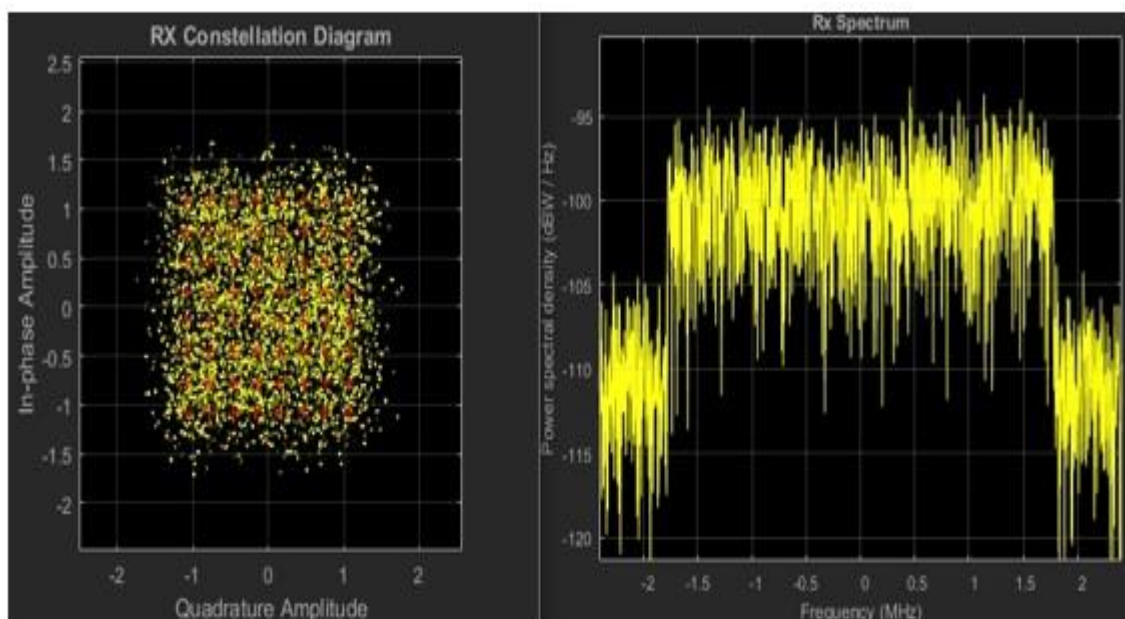
(b)

Estándar ATSC con modulación OFDM. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Figura 4.7 (a) Resultado obtenido con un SNR de 10[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro



(a)



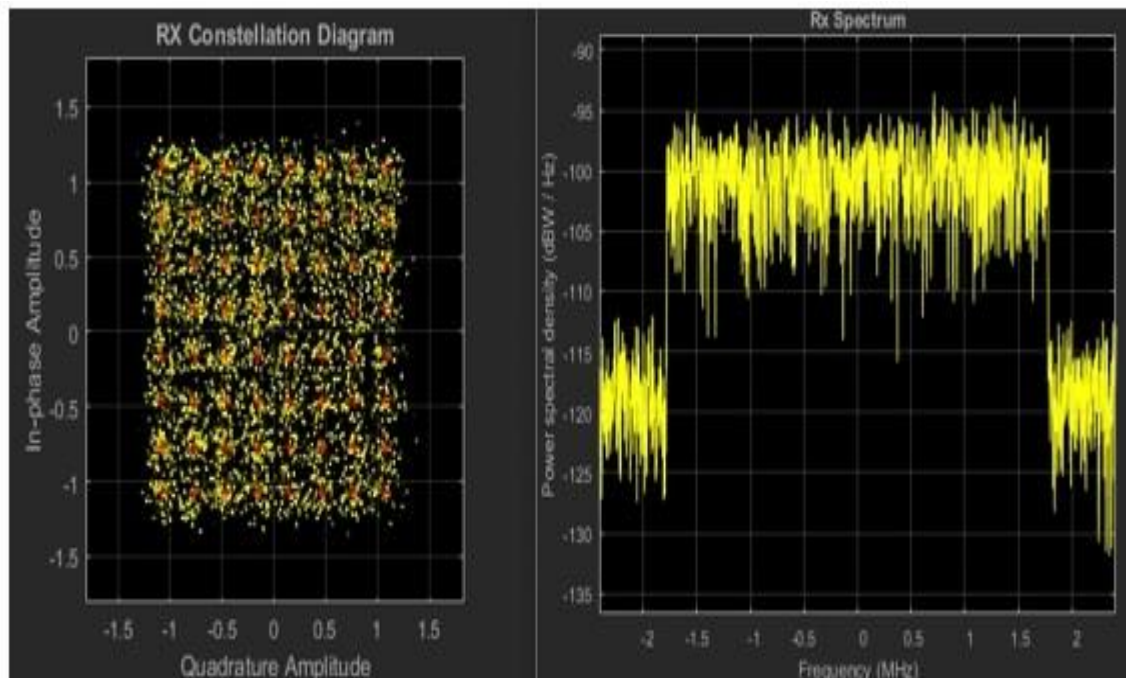
(b)

Estándar ATSC con modulación OFDM. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge

Figura 4.8 (a) Resultado obtenido con un SNR de 18[dB], (b) Diagrama de constelaciones y Espectro.



(a)



(b)

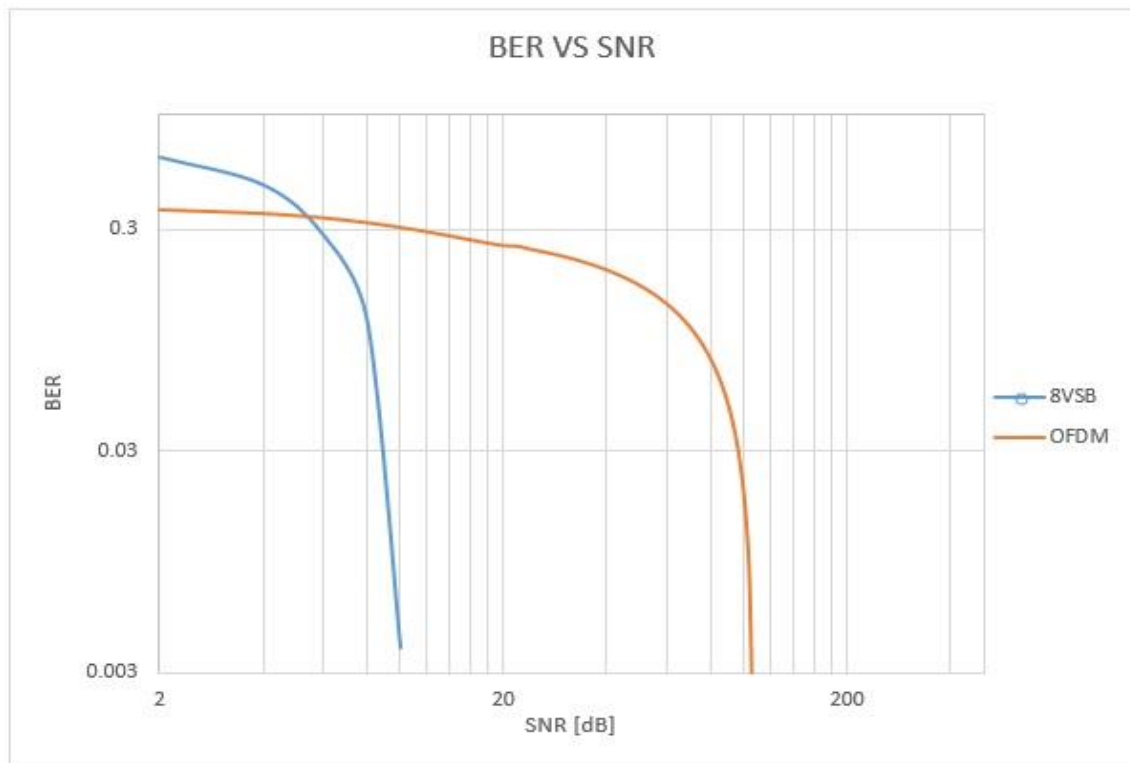
Estándar ATSC con modulación OFDM. Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

4.3 BER (Bit Error Rate)

Los errores de bits existen cuando se desea demodular señales con baja relación de señal a ruido o señales altamente distorsionadas. En el sistema implementado con modulaciones 8-VSB y OFDM se utiliza un canal AWGN configurado en modo SNR en el cual se realizará variaciones sobre la relación señal a ruido con intervalos de 2 [dB], esto permitirá obtener resultados sobre la transmisión de la imagen RGB y la gráfica del BER. El estándar ATSC define una transmisión óptima con un SNR de 10 [dB], en la implementación de la modulación 8-VSB se obtuvo como resultado un BER de 0.003879, utilizando el SNR definido por el estándar. En el caso de la modulación OFDM se obtiene un valor de 0.3096, a partir de los 18 [dB] hasta 20 [dB] es cuando se obtienen los mejores resultados sobre la imagen RGB, con valores superiores a estos los cambios sobre la imagen y el BER son mínimos.

En la Figura 4.9 se indica las gráficas del BER vs SNR de las dos modulaciones del sistema.

Figura 4.9 BER vs SNR del estándar ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM.



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

4.4 Delay o Retardo

Para obtener el retardo que existe en los sistemas simulados, utilizamos el bloque “Find Delay”, este bloque nos permite mostrar el retraso de la señal recibida, el puerto de salida de este desplegará el retardo en unidades de muestra (bits o bytes), además el parámetro “Samples” debe estar definido con un valor más grande que la longitud de la ventana de la imagen que se transmitió, esto quiere decir que el parámetro “Samples” debe ser el doble o triple de la dimensión de la imagen RGB, esto permitirá obtener una lectura adecuada del retardo.

Para encontrar el valor generado en segundos nos basaremos en la Ecuación 4.1 que indica como calcular el retardo de transmisión. (Caravaca Escavy, 2017)

$$D = \frac{\text{Total de bits}}{\text{Velocidad de transmisión [Mbps]}} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Las muestras obtenidas en la implementación del estándar ATSC con modulación 8-VSB son de 81216 bits, y con modulación OFDM se obtuvieron 10536 bits. En un canal de 6MHz la velocidad de transmisión medida en la simulación es de 19.29 Mbps.

Por lo tanto, aplicando la Ecuación 4.1 sobre las muestras obtenidas en cada modulación, se obtiene los siguientes retardos: modulación 8-VSB con 4.2103 [ms] y OFDM con 0.5462 [ms].

4.5 Eficiencia

El valor de la eficiencia muestra que tan óptima es la transmisión de la señal en el receptor. Para un sistema de transmisión ideal el valor de eficiencia es 1, por lo tanto, para la modulación de un sistema real de televisión digital se estima un valor no menos de 0.9.

La Ecuación 4.2 nos permite calcular el valor en porcentaje de la eficiencia de los sistemas simulados.

$$\eta\% = \frac{|\text{Total de bits} - \text{Bits erróneos}|}{|\text{Total de bits}|} \times 100\% \quad \text{Ec. (4.2)}$$

En la Tabla 4.2 se considera valores en ambas modulaciones donde la transmisión de la señal es poco y altamente eficiente.

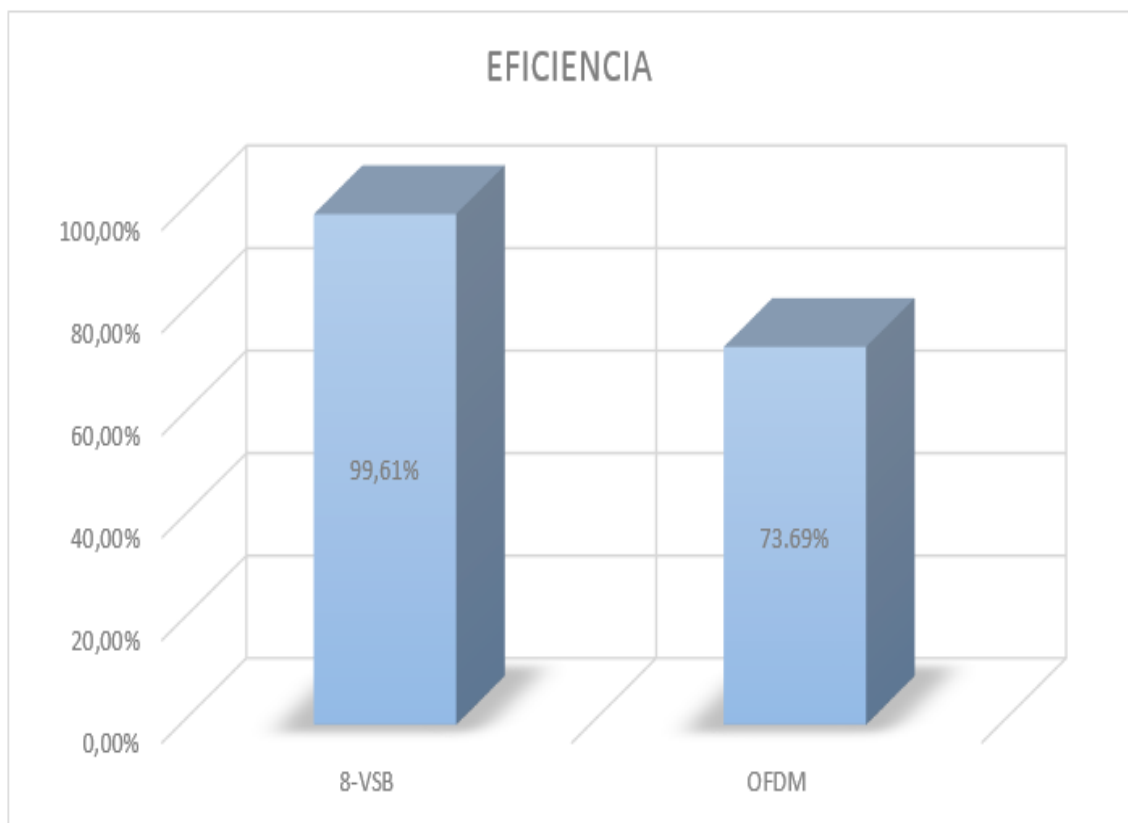
Tabla 4.1 Eficiencia del Sistema ATSC bajo modulaciones 8-VSB y OFDM

SNR	ATSC					
	8-VSB			OFDM		
	Total Bits	Bits erroneos	Eficiencia	Total Bits	Bits erroneos	Eficiencia
6	135360	37818	72.06%	1162968	397043	65.85%
10	135360	525	99.61%	1162968	360020	69.04%
18	135360	0	100%	1162968	305958	73.69%

Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.

Para realizar la gráfica de la eficiencia se tomó como referencia el SNR de 10 [dB] en ambas modulaciones, en la figura 4.2 se presentan los valores en porcentajes de la eficiencia del sistema ATSC, a fin de mostrar que modulación es la más óptima al transmitir una imagen RGB.

Figura 4.10 Eficiencia entre modulaciones 8-VSB y OFDM para un estándar ATSC.



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El análisis y la implementación en Matlab del sistema de televisión digital avanzado ATSC con modulaciones 8-VSB y OFDM, nos permitió observar las diferencias existentes entre las constelaciones, el espectro de la señal, el BER, la eficiencia y el retardo en la recepción de datos.
- El estándar ATSC con modulación 8-VSB es más eficiente en un 25,92% que con la modulación OFDM en base a los bits recibidos, aunque OFDM posee un menor retardo la imagen sigue presentando ruido, en cambio en 8-VSB el retardo aumenta en un 87,02% con respecto a la modulación OFDM, pero resulta ser más confiable ya que el ruido en este sistema es casi imperceptible.
- Se concluyó que el estándar ATSC con modulación 8-VSB posee menos errores en la transmisión de los datos esto en base a los bits erróneos y tomando en consideración un nivel de referencia establecido en 10 dB para el SNR, por lo tanto la modulación 8-VSB permite una mejor transmisión de la imagen RGB debido a que elimina casi en su totalidad el ruido de la imagen.

5.2 Recomendaciones

- Para una mejora considerable de la recepción de la imagen y del BER, se recomienda el uso del estándar ATSC 3.0 el cual tiene un mejoramiento en la capa física, por lo que utiliza otro tipo de corrección de errores mediante códigos BCH y LDPC antes de realizar el mapeado de la señal. En consecuencia, esto permitirá la transmisión del contenido en alta definición con menos errores.
- Sería interesante realizar la simulación del estándar ATSC para la transmisión de video en lugar de una imagen RGB, con este cambio en la simulación se podría observar el comportamiento en la transmisión y recepción del sistema utilizando una mayor cantidad de datos.

REFERENCIAS

- Acuña Molina, J. E., & Terán Jaramillo, M. J. (2017). Simulación en Matlab de los métodos de acceso OFDMA y SC-FDMA para la tecnología LTE sobre un canal inalámbrico AWGN y un canal multitrayectoria con distribución Nakagami, 213. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17385>
- Alsinella Fernández, M. (2008). Implementación de técnicas de estimación y sincronización para sistemas OFDM, 198.
- Armstrong, J., & Member, S. (2008). OFDM for Next Generation Optical Communication Systems. *Signals*, (c), 1–2.
- ATSC. (2011). ATSC Digital Television Standard – Part 2: RF/Transmission System Characteristics, (December), 1–28.
- Cantos, L. R., & Tapuy, S. (2011). SIMULACION DEL ESTANDAR DE TELEVISION DIGITAL ISDB-T b BASADO EN UN ESQUEMA DE MODULACIÓN / DEMODULACIÓN OFDM IMPLEMENTADO EN MATLAB-SIMULINK, 28. Retrieved from [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25491/1/Resumende tesis LCantos y STapuy, director de tesis BRamos 15 marz 2014.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25491/1/Resumende%20tesis%20LCantos%20y%20STapuy,%20director%20de%20tesis%20BRamos%2015%20marz%202014.pdf)
- Caravaca Escavy, V. (2017). *UF1866: Instalación y configuración de servicios en equipos de telefonía* (5.1). España. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=HbpWDwAAQBAJ&pg=PA235&dq=como+calcular+el+retardo+de+transmision+con+velocidad+de+transmision&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjXvJGGjfreAhXErVkKHafjCRgQ6AEILTAB#v=onepage&q=como%2520calcular%2520el%2520retardo%2520de%2520tra>
- Castro, I. (2010). Simulador de un sistema de Transmisión, Recepción y ecualización de DVB-T en Simulink.
- Chie, S., Zambrano, M., & Medina, C. (2015). Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña. *Prisma Tecnológico*, 6(1), 19–23.
- Dionísio, V., & Akamine, C. (2017). Comparison of Terrestrial DTV Systems: ISDB-TB

- and ATSC 3.0. *SET International Journal of Broadcast Engineering*, 2017(3), 9–14.
<https://doi.org/10.18580/setijbe.2017.1>
- Gallardo Moreno, J. P. (2006). Estudio de un sistema CDMA-OFDM, 39.
<https://doi.org/10.1177/0533316412447053>
- Guerrero, N., & Guerrero, W. (2013). Estudio de las Características que Posee la Televisión Digital Terrestre que Permita Mejorar el Servicio Actual de la Televisión en Nicaragua . Managua 23 de Octubre 2013, 1–102.
- Jiménez, L., Parrado, J., Quiza, C., & Suárez, C. (2001). Modulación multiportadora OFDM, 30–34.
- Márquez, J. E. B. (2012). Principios de la comunicaciones, 624.
- Massel, M. (2003). *Digital Television: DVB-T, COFDM and ATSC 8-VSB: (Second Edition)*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=wHxNCAAAQBAJ&pg=PT102&lpg=PT102&dq=atsc+fft+2k&source=bl&ots=PxFceVZia&sig=YFNxDw6BJwvV_g6EoNOtJkfXfGk&hl=es&sa=X&ved=2ahUK EwjQq8zsvrvcAhXIm-AKHWfeASgQ6AEwCnoECAIQAQ#v=onepage&q&f=false
- MathWorks. (2006). Error Rate Calculation. Retrieved November 15, 2018, from https://la.mathworks.com/help/comm/ref/errortatecalculation.html?searchHighlight=errortatecalculation&s_tid=doc_srchtile
- MathWorks. (2012). Find Delay Block. Retrieved November 15, 2018, from <https://la.mathworks.com/help/comm/ref/finddelayblock.html#fp1059362>
- MathWorks. (2015). Televisión digital ATSC - MATLAB y Simulink. Retrieved November 13, 2018, from <https://www.mathworks.com/help/comm/examples/atsc-digital-television.html#commatasc-18>
- Mauricio, J., & González, V. (2008). Simulación de un Esquema de Modulación / Demodulación OFDM Utilizando un Modelo de Canal Multitrayectoria ”.

- Navigation, S., & Route, N. S. (2006). Moclación 8-VSB y Equipo Transmisor.
- Oscar, N., Jiménez, O., & Ramírez, O. E. R. (2016). COMPARACIÓN ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN DE SEGUNDA GENERACIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE : DTMB-A Y DVB-T2 ., *15*(3), 39–55.
- Pérez, C. (2015). Transmision De Television Digital. *Universidad de Cantabria, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones*, (February), 1. Retrieved from [http://personales.unican.es/perezvr/pdf/estandares de transmision digital.pdf](http://personales.unican.es/perezvr/pdf/estandares%20de%20transmision%20digital.pdf)
- Polbachi, A. (2011). Estimación Ciega De Canal En Sistemas OFDM, 146. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25769-8-19>
- Sandoval, F. (2011a). Atsc, 12–16.
- Sandoval, F. (2011b). DVB-T: Digital Video Broadcasting Terrestrial, 25.
- Sparano, D. (1997). WHAT EXACTLY IS 8-VSB ANYWAY.
- Strassberg, B. D., & Editor, S. T. (2000). 8-VSB VERSUS OFDM: MORE THAN A TEMPEST IN A TV?
- Vargas, C. V, Lopez, W. E., & Rocha, C. F. (2011). Sistema de Comunicación Inalámbrica MIMO-OFDM. *Assembly*, *3*, 761–777.
- Wu, Y. (1999). Performance comparison of ATSC 8-VSB and DVB-T COFDM transmission systems for digital television terrestrial broadcasting. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, *45*(3), 916–924. <https://doi.org/10.1109/30.793643>

ANEXOS

ANEXO 1

Interfaz gráfica

Para entrelazar los bloques de entrada y salida de datos con las variables utilizadas tanto en la programación como en Workspace, se implementó una interfaz de usuario, esta consta de un conjunto de botones "Push Button". Los botones "INICIAR" buscan los archivos con las extensiones slx en la carpeta Interfaz, estos archivos son ejecutados por Simulink automáticamente, los botones "ENVIAR SEÑAL" se encargan de leer la imagen que se pretende enviar, el comando utilizado para enlazar las variables de Workspace con Simulink es el siguiente: `assignin(Ws,'name', V)`, donde a la variable Ws se le asigna un nombre, y es evaluada por el parámetro V, este proceso permitirá que la imagen pueda ser enviada como un flujo de datos al bloque "Signal From Workspace", cuando los datos sean recibidos se desplegara un mensaje confirmando dicha acción.

Finalmente, los botones "RESULTADO" y "SIN FILTRO" permitirán obtener los datos procesados por el receptor, estos datos pasarán al código de programación como variables a través del comando `evalin(Ws, 'name')`, este proceso permitirá reconstruir la imagen en un formato adecuado para su presentación. En la Figura A.1 se muestra la interfaz gráfica implementada para estándar ATSC sometido a las modulaciones 8-VSB y OFDM.

Figura A.1 Interfaz gráfica desarrollada



Elaborado por: Aguas Mauricio y Sandoval Jorge.